

基于生命周期的 A320 飞机拆解可维护性分析

廖先超 宾伟奇

长龙（杭州）航空维修工程有限公司，浙江省杭州市，311203；

摘要：随着全球航空运输业的迅猛进步，大量的民用飞机，比如 A320 系列，正在步入或者靠近其服役生命的最后阶段，飞机拆解及回收再利用变成航空产业链末端非常迫切的需求，在这之中，拆解可保持性成为体现飞机在寿命尽头高效、便宜且环保拆解难易情况的关键指标，它与飞机资源回收效率，环境影响以及经济效益有密切关联，本文主要关注的是 A320 这样的飞机，在全面看待整个生命周期的情况下，系统研究了影响 A320 飞机拆解可保持性的要素，并且形成起一个大概的概念性体系架构，文章先解释了飞机拆解可保持性的概念及其在持续发展航空方面的意义，然后深入剖析了影响最终能够高效地经济且环保地对 A320 飞机拆解的因素，也就是在该飞机的设计，制作，经营维护乃至废弃规划这些不同的生命环节阶段里，诸如结构规划，原材料选用，衔接手段，修理档案记录等等。在此基础上，提出了一个用于改进 A320 飞机拆解过程的多维思考路径，突出了设计之初的源头控制和整个生命进程的全程信息可回溯，还有先进拆解技术的应用。本文的研究希望能对航空器制造商和运营商以及回收企业改善飞机拆解效率，发展循环经济发展起到一些作用，推动绿色航空，资源节约社会的建设。

关键词：A320 飞机；飞机拆解；可维护性；生命周期；可持续航空

DOI：10.64216/3080-1508.25.03.019

引言

“根据飞机机队回收协会（AFRA）的数据，未来 20 年全球将有超过 1.2 万架飞机退役，国内退役飞机数量将超过 5000 架。中国商飞预测，到 2041 年，全球客机机队规模将达到 47531 架，中国机队将占 21.1%（10 007 架）。其中，A320 系列到 2023 年 10 月在国内的保有量为 1880 架，42% 的机龄超过 9 年，未来 10 年 A319/320/321CE0 机型（1276 架）将成为拆解市场的主力军。国际市场，一架 5000 万美金的退役飞机回收价值约 500 万美金，仅发动机、起落架等核心部件转售就能赚取千万美金。发动机占拆解价值的 50% 以上，单台二手发动机售价高达百万美金，2 万余个可修部件通过认证后进入航材市场，带动维修、物流等产业链价值^[1]。”

1 A320 飞机拆解可维护性的内涵与生命周期视角

1.1 飞机拆解维护性的核心概念

飞机拆解可维护性是个综合且多维度的概念，它包含物理易拆解性，经济性，安全性，环保性和时效性这些方面，物理易拆解性是指飞机结构和部件容易被拆开，拆卸，这牵涉到连接方法是否繁杂，部件是否便于到达，拆卸时要用的专门工具数量和种类等，经济性看重拆解过程中的成本控制，牵涉人力成本，设备成本，时间成本以及拆解后零部件和材料的回收价值，安全性要保障

拆解作业时操作人员的安全，防止有毒有害物质泄漏，结构失稳等情况引发事故，环保性关乎拆解过程中对环境的影响，涉及废弃物处理，噪音和粉尘控制，有害物质的妥善处理等，时效性就是拆解作业的效率，能否在恰当的时间内完成拆解任务。

“拆解作业要符合 CCAR145 部的要求，把拆解归为“其他维修工作”，涉及到部件的可达性设计（留出工具操作空间）、标准化连接件（螺栓/卡扣代替焊接）以及拆解后部件的标签管理（记录零件名称、原飞机信息、拆解人员和时间），保证航材的可追溯性^[2]。”

1.2 基于生命周期的分析视角

把生命周期（LifeCycle）视角引进来考察 A320 飞机拆解可维护性，这就意味着把飞机当作一个从概念设计，研发制造，运行守护到最终退役处理的整个体系看待，在这个体系当中，前面阶段的决定和行动会深深影响到后面阶段，特别是对末端的拆解活动。

设计阶段是决定飞机拆解可维护性的源头，设计师在结构布局、材料选取、部件连接、系统整合等决策过程中，如果能够考虑到未来的拆解需求，比如采用模块化设计、易拆卸连接件、标识明显的回收材料等等，就能大大提升飞机退役后拆解的效率和价值。

制造阶段的工艺选择和质量把控也很关键，装配精度，焊接质量，涂层处理这些事不但关乎飞机服役期间

的表现,拆解的时候或许也会带来麻烦或者方便,过度或者不恰当的永久性链接就有可能加大拆解的难度。

运营维护阶段是飞机整个生命周期中持续时间最长的一个阶段,在这一阶段内,飞机将会接受各种定期检修、部件更换、结构修理及改装升级等维护活动,而这些维护活动采用的材料、工艺以及形成的维修记录都会对飞机最初的原设计状态产生一定的改变,进而影响到飞机最终被拆解时的状态及其可维护性。详尽且准确的维护历史数据对于制定高效的拆解计划极为重要。

退役规划阶段则是对飞机剩余价值的评估和最大化利用决策,此时根据对飞机当前技术状况以及拆解可维护性准确判断,可以选取合适拆解方案,例如优先拆卸高价值可再利用部件、针对性处理有害物质等。

2 A320 飞机拆解可维护性的主要影响因素分析

2.1 设计阶段因素

设计是飞机拆解可维护性的先天基础,结构设计方面,模块化设计理念的运用程度影响着拆解效率,若A320关键系统和部件,比如发动机,起落架,航电系统等能够做到高度模块化,那么在拆解的时候就可以迅速、完整地把这些模块分离出来,方便后续的检测,翻新或者再利用,部件的可达性同样重要,那些藏在机身深处或者难以到达的部件肯定会让拆解变得困难且耗时,材料选择也是关键因素,A320飞机大量使用了铝合金,钛合金,钢以及越来越多的先进复合材料,不同材料的物理化学性质,连接方法,比如铆接,焊接,胶接,以及在拆解之后的分离,回收技术各有差异^[3]。“高价值部件(发动机、起落架)的模块化设计影响拆解效率,发动机占拆解收益50%以上,快速拆卸需独立安装框架、标准化接口;起落架循环寿命控制设计,拆解时履历评估剩余价值,直接转售或翻新。

2.2 制造与装配阶段因素

制造与装配阶段的工艺和质量控制也会对飞机拆解可维护性产生潜在影响,飞机各个部件之间装配的精确度以及连接的质量,如果在制造过程中被很好地控制,就能避免由于过度应力或者变形造成的部件固着现象,从而减少拆解难度,相反地,不规范的装配操作可能会造成部件间隙太小或者连接过于紧密,在拆解时就存在损伤零部件的可能性,制造过程中所用到的涂层,密封剂,粘合剂这些辅助材料的种类和数量同样会影响到拆解。有些高性能的永久粘合剂,在服役期内能提供不错

的结构强度,但拆解的时候却很难去掉,要靠特别的溶剂或者物理手段才能去除,这样不但加大了成本,而且也许会产生二次污染,而且,生产的时候是不是创建起完备的数字化记录,比如精确的“竣工”BOM清单,各个部件的安装位置和办法之类的,这对以后拆解作业有着很大的意义。

2.3 运营与维护阶段因素

A320飞机在数十年的运营时间里,要承受繁杂的维护、修理和改装(MRO)活动,这些活动明显改变飞机的原始状态,进而对拆解可维护性形成动态影响,维修记录的完备与准确是评判拆解可行性的关键参照,详尽记载哪些部件被替换过,采取何种修理手段,是否执行过结构损伤修补等信息,有益于拆解团队预先识别难点,制订合理的拆解计划,非标准的维修或者改装也许会增添新的材料或者联络办法,要是这些改动未充分考量以后的拆解需求,就可能无意识地加大拆解的难度。“国内A320系列飞机平均机龄8年,A320CEO平均机龄9.2年,A319CEO平均机龄9.0年,机龄超9年飞机占42%(789架),长服役导致连接部位锈蚀、材料退化,维护时应加强防腐与损伤检测,保证退役时可拆解。

2.4 信息管理与技术因素

A320飞机整个生命阶段的信息管理情况,会支撑到它的拆解可维护性,包含设计图纸、制造数据、维修手册、改装记录、部件溯源信息等的数字化及共享程度,如果可以创建起一个完整的飞机全生命周期数据库,然后在退役的时候交付给拆解方,那么这会极大提升拆解规划的精确度和作业效率,缺少精准且易于获取的信息,拆解人员大概要花费更多时间去摸索和尝试。另一方面是拆解技术及装备是否足够先进,这同样是影响到拆解可维护性实现程度的一个重要的外部因素。例如使用一些自动化机器人拆解技术、精度更高更高效的切割器械、智能化识别并分开各种不同零件等等这些技术及装备的应用,都能够帮助应对像一架A320这种非常复杂的飞机进行拆解,从而达到提升其可拆解性的水平,使得拆解的效率更高,所花成本更低,同时也能更加保证拆解过程的安全程度,在缺少这些技术以及相应配套设备的情况下即便是飞机本身的可拆解性较好但依然难以完全发挥作用^[4]。

3 提升 A320 飞机拆解可维护性的策略研究

3.1 优化设计以提升源头可拆解性

设计的改良是改善飞机拆解可维修性的关键途径,飞机生产商在 A320 后续型号的改良设计或者全新的飞机开发时,应当把“为拆解而设计”(DesignforDisassembly, DfD)的概念放在更重要的位置,详细措施包含:积极推广模块化设计,不仅仅局限于发动机、起落架这些大型部件,而且要细致到航电系统、液压管路、内饰部件等各个部分,使各个功能模块可以快速、无损地分开,在材料选取上,“铝制蒙皮、框架等结构件的冶金回收率要达到 60%,复合材料回收技术还在突破当中,设计的时候要标明材料种类,比如铝合金/钛合金/复合材料,这样方便拆解之后分拣,铝制部件可以直接熔炼再生,复合材料得用专门的设备把纤维和树脂分开。

3.2 强化全生命周期信息管理与共享机制

建立并完善 A320 飞机全生命周期数字化档案非常必要,档案要从飞机出厂时起,动态记载它全部的设计改动,制造数据,运作时数,运转圈数,维修情况(包含部件替换,修理计划,损伤状况),改装信息等,数据的标准化,结构化,可追踪性很关键,利用云计算或者区块链技术搭建起共享平台,保证飞机生产商,运营商, MRO 公司以及合法的拆解回收企业能在授权范围内查阅这些重要信息。“民航局 AC-145-FS-2019-017 咨询通告规定拆解单位需建立部件信息管理体系,包含维修历史、改装数据和适航状况等,中飞租赁哈尔滨拆解基地采用数字化档案追踪部件履历,保证二手航材符合《合格的航材》,打通国际销售渠道。

3.3 先进拆解技术与智能化装备的发展

技术的进步是拆解效率和效益提升的强力支撑,应当推动研发及应用先进的飞机拆解技术与智能化装备,开发依靠机器人及计算机视觉的自动化拆解系统,用以精确、迅速地拆卸标准连接件,切割机体结构,探究高效的、环保的复合材料分离与回收技术,破解当下复合材料回收利用率低的问题,采用无损检测技术(NDT)对拆卸下来的零部件开展快速评估,判定它们是否具备再次利用或者翻新的价值,发展智能化的物料分拣系统,能自行识别并分开各类金属,塑料以及复合材料,从而改进回收材料的纯度和价值,就拆解过程中也许产生的粉尘,噪音和有害气体而言,也要研制相应的环境保护和职业健康防护技术,保证拆解过程的绿色化和人性化。

3.4 健全政策法规与标准体系

政府和行业组织要在飞机拆解可维护性提升方面起到引导和规范作用,制订完善有关的政策法规,可以把飞机拆解可维护性需求列入新型飞机的适航审定标准,或者给采用绿色设计,易于拆解的飞机给予一些政策方面的奖励,创建飞机拆解企业的准入标准和操作规范,保证拆解活动在环保和安全的前提下展开,推进形成飞机拆解相关的标准体系,包含零部件再次利用标准,材料回收标准,拆解工艺流程标准等等,给行业发展赋予技术支撑^[5]。而且,积极开展国际协作与交流,学习发达国家在飞机拆解及再循环方面的先进经验和科技,一同解决全球范围内的航空器退役难题,通过政策引领,资金支持以及标准制定,可以有效地促使产业链各环节一起投入精力,努力改善 A320 及其他型号飞机的拆解可维护程度。

4 结论

“A320 系列拆解不只是技术问题,还是产业链协同的经济实践,拿单架飞机拆解来说,1 个月周期就能带来 10 万美金工时收益,核心部件转卖加上材料回收能将整体价值做到百万美元级别,推动“设计-制造-运营-拆解”全周期优化,对于国内千亿级拆解市场(年复合增长率 6%-7%)的可持续发展有着战略意义。

参考文献

- [1]陈慧勇,冀晓雪,张树海.大跨度飞机拆解机库提升施工技术[J].中国建筑金属结构,2023,22(06):2-4. DOI:10.20080/j.cnki.ISSN1671-3362.2023.06.002.
- [2]董壮志,朱帅.飞机价值金属属性和金融属性思考——从投资人角度看飞机估值类型的选择与应用[J].海外投资与出口信贷,2022,(02):19-23.
- [3]于海生,何田.民用飞机拆解相关适航要求研究[J].民用飞机设计与研究,2022,(01):157-161. DOI:10.19416/j.cnki.1674-9804.2022.01.019.
- [4]王雨,杨卫国,解建波.我国飞机拆解行业环境保护研究[J].航空维修与工程,2021,(01):24-26. DOI:10.19302/j.cnki.1672-0989.2021.01.005.
- [5]任治潞.飞机拆解业的新风向[J].大飞机,2020,(10):44-47.

作者简介:廖先超(1989.3.10-),男,汉族,湖北荆州人,本科,中级工程师,研究方向:航空器维修。宾伟奇(1986.10.06-),男,汉族,湖南衡阳人,本科,中级工程师研究方向:航空器维修。